

〔報文〕カンボジア・タ・ネイ遺跡における蘚苔類の繁茂と砂岩の風化

著者	朽津 信明
雑誌名	保存科学
号	47
ページ	111-120
発行年	2008-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1440/00003720/

〔報文〕カンボジア・タ・ネイ遺跡における蘚苔類の繁茂と砂岩の風化

朽津 信明

1. はじめに

岩石の表面に地衣類や蘚苔類、藻類などの生物が繁茂することで、その岩石の風化が促進される場合があることが知られている¹⁾。このため石造文化財の表面にそうした生物が付着している場合には、通常は保存のためにそれらは好ましくないものとされ、除去が検討される場合も多い²⁾。しかしながら、これまで指摘されてきた表面生物の影響というのは、例えば顕微鏡でようやく認識されるレベルの孔が鉱物の表面に空けられたり³⁾、表面のごく一部で成分の化学的変質が指摘されたりする⁴⁾といった程度に留まっていた。確かに学問的に言えば、それは「生物の岩石風化への関与」と認識されるものではあるが、例えば数百メートル規模の石造遺跡にとって、顕微鏡を用いて初めて認識することが可能な孔が表面に空くことが、果たして保存上どこまで深刻な問題と認識されるべきなのであろうか。もちろんこうした問題では、今見えている直接的な生物の影響ばかりでなく、一つの小さな変化が次の大きな変化を生む引き金となって、最終的に大きな劣化に繋がる可能性も想定する必要がある。従って、一見して小さな現象に思えてもそれを軽んじて楽観することは許されないが、かと言ってただ闇雲に現れた現象を深刻視して危機感を煽るだけではなく、具体的にそれぞれの現象が文化財に対してどのようなデメリットに繋がるかを、きちんと検証していくことが必要であろう。

このような観点から本研究では、カンボジアのアンコール遺跡群にあるタ・ネイ遺跡において、砂岩の表面に蘚苔類をはじめとする生物が繁茂することが、その石材の風化とどのような関係にあるかを検証することを試みた。

2. タ・ネイ遺跡と生物繁茂

2-1. 遺跡の概況

調査対象としたのは、カンボジアのアンコール遺跡群内にある、タ・ネイ (Ta Nei) 遺跡である (図1)。同遺跡は、著名なバイヨン遺跡と同様に、12世紀末～13世紀初頭頃のジャヤヴァルマンⅦ世の治世下で造られたと考えられている寺院遺跡⁵⁾で、現存する建物は主として砂岩とラテライトとによって構成されている (図2)。一般に、ラテライトは基壇付近に卓越して用いられているのに対し、上部で彫刻などの装飾が施されている部分はほぼ砂岩で造られている。これらの石材による構造は、アンコール遺跡群内に残る他の遺跡とも類似した状況であるが、例えばバイヨン遺跡などの、アンコール遺跡群内に残る他の多くの遺跡では、遺跡内の樹木が積極的に伐採されるなどの周辺環境整備が進んでおり、開空度が高い (日射が与えられやすい) 環境にある (図3) のに対し、タ・ネイ遺跡ではそうした遺跡周辺整備があまり行われておらず、遺跡内に多数の高木が存在して開空度が低い (日射が与えられにくい) 状況が与えられている (図2)。

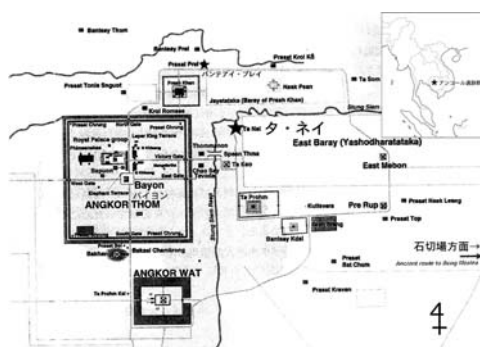


図1 アンコール遺跡群とタ・ネイ遺跡位置図



図2 タ・ネイ遺跡における生物繁茂
樹木が多く、その陰になりやすい部分には蘚苔類が卓越するが、そうでない部分には地衣類が卓越する。



図3 バイヨン遺跡
樹木は少なく、地衣類はあるが蘚苔類は顕著ではない。

2-2. 生物繁茂状況

アンコール遺跡群内では、砂岩やラテライト石材の表面に、藻類や地衣類などの生物が繁茂する現象がこれまでも頻繁に報告されており⁶⁾、例えばバイヨン遺跡においては藻類を除去する対策が検討されている。ただし、こうした生物の存在が石材の劣化を促進していることを示す定量的なデータは、具体的には報告されていない。

タ・ネイ遺跡における生物繁茂については、柏谷・文および樋口によって詳細に報告がなされている⁷⁾。それによれば、タ・ネイ遺跡の範囲内において、地衣類について34属41種、蘚類について8属9種、苔類について2属3種の存在がそれぞれ記載されている。上述のようにタ・ネイ遺跡では他のアンコール遺跡群内の遺跡に比べて周辺環境整備が進んでおらず、石材表面に存在する生物に関する状況も若干異なっており、具体的に言えば、他の遺跡では石材表面で繁茂するという報告があまりない、蘚苔類の繁茂が特に目立つ状況にあるのが大きな特徴と言える(図2, 3)。その原因としては、タ・ネイ遺跡では他の遺跡での計測データに比べて日

射量が少なく風速が極端に小さい傾向が観察され、相対湿度が高めである事実が関係するのではないかと指摘されている⁷⁾。実際、タ・ネイ遺跡内で見ても地衣類と蘚苔類それぞれの生物について、卓越する場所とそうでない場所との傾向の違い（棲み分け）を指摘することが可能であり、例えば高木の陰になり、日射が与えられにくい場所には主として蘚苔類が卓越し、日射が与えられやすい場所では地衣類の方が目立っている⁷⁾（図2）。

3. 硬度測定

先述のように、タ・ネイ遺跡においては、石材表面において特に蘚苔類が多く観察される点の特徴と言えるが、地衣類の石造文化財に対する影響はこれまでに数多くの研究がなされ、アンコール遺跡群内での研究も知られる⁸⁾のに対して、蘚苔類の石材に対する影響を具体的に論じた研究は少ない。そこで本研究では、石材表面における特に蘚苔類の存在が、石材の風化とどのような関係にあるかに着目した調査を行った。

具体的には、表面に蘚苔類が存在する石材と、そうでない石材とで、強度的な違いがあるかどうかを検証した。中でもタ・ネイ遺跡においては先述の通り、彫刻に利用されているのは砂岩に限定されることから、特に砂岩石材を調査対象とした。なお、当然のことながら同一遺跡内で用いられている同種の砂岩であっても、当初からその強度にはある程度のバラツキがあったことも予想されるため、それぞれについてなるべく多くの箇所で測定し、その平均値を比較する方法を採用した。以下に対象、方法、結果を順番に記す。

3-1. 対象

まず、新鮮状態の砂岩（以下、「新鮮砂岩」とする）のデータは、タ・ネイ遺跡において表面漆喰が残存する箇所の近傍で、ごく最近になって漆喰が崩落して砂岩表面が空気に曝されたと判断される箇所や、表面状態から、ごく近年に破損したことにより初めて表面に曝されたと判断される破断面において計測した。ただし、それだけでは計測地点の数が乏しいため、その他に、アンコール遺跡東方の石切場で、近年アンコール遺跡の修復のために用いられた石材を切り出したことによって曝された砂岩の破断面と、アンコール遺跡群内で、タ・ネイ遺跡と近接した時代に造られたとされるバンテアイ・プレイ遺跡（図1）において、同様に近年曝されたと判断される砂岩表面においても計測した。これら砂岩は、肉眼的特徴はいずれもタ・ネイ遺跡で用いられている砂岩石材と類似し、いずれも長石質アレナイト⁹⁾と見られる。新鮮砂岩の表面硬度は、合計で34箇所で計測した。

次に、蘚苔類が繁茂している箇所（以下、「蘚苔類繁茂」とする）に関しては、タ・ネイ遺跡において、砂岩表面に目視で地衣類の付着が認められず、蘚苔類の付着が卓越していると見られる箇所を選んで計測を行った。それぞれの計測地点では、ナガハシゴケ科の*Texithelium nepalense*、ツヤゴケ科の*Trachyphyllum inflexum*、センボンゴケ科の*Hyophila comosa*、ホウオウゴケ科の*Fissidens hollianus*の各蘚類の存在がそれぞれ報告されていた⁷⁾が、厳密に単一種のみで表面が覆われている箇所を現地で設定して計測を行うのが困難だったことから、以下では種ごとの影響の違いではなく、単に蘚苔類が表面に付着する箇所をそうでない箇所と比較するとの認識で議論を進めることとする。また、調査点数を増やす目的から、上記と同様にバンテアイ・プレイ遺跡においても、種は特定されないものの何らかの蘚苔類に覆われていると判断された部位も計測対象とした。蘚苔類繁茂の硬度は、合計で40箇所で計測した。

最後に、表面に曝されていた状態の砂岩の強度に関する一般的な情報として、地衣類が繁茂する箇所（以下、「地衣類繁茂」とする）についても計測を行った。まずタ・ネイ遺跡において

は、砂岩表面に目視で蘚苔類の付着が認められず、地衣類の付着が見られる箇所を選んで計測を行った。なお、タ・ネイ遺跡に存在する地衣類としては先述の通り34属41種が記載されているが、蘚苔類同様に厳密に単一種のみで覆われている箇所を現地で設定して計測を行うのが困難だったことから、本稿では種名の記載は控え、単に地衣類の繁茂箇所とするに留める。また、調査点数を増やす目的から、上記と同様の石切場やバンテアイ・プレイ遺跡においても、種は特定されないものの何らかの地衣類に覆われている部位を計測対象とした。地衣類繁茂の硬度は、合計で66箇所で計測した。

3-2. 方法

測定はエコーチップ試験器により、その場で非破壊で行った。この方法は、事実上測定対象に影響を与えることなく、一軸圧縮強度と相関を持つ硬度値を計測できる方法である⁸⁾。まず、新鮮砂岩に関しては、それぞれなるべく均質で平らな部分を選んで計測を行った。蘚苔類繁茂に関しては、砂岩表面を傷つけないように指で蘚苔類部分のみを除去し、砂岩部分を表面に曝した状態で計測した。また別に、ホウオウゴケ科の*Fissidens hollianus*と見られる蘚類が卓越している砂岩において、その蘚類の上から計測を行った（以下、「蘚苔類上」として蘚苔類繁茂と呼び分ける）。地衣類繁茂に関しては、地衣類のみを引き剥がして砂岩表面で計測を行うことが不可能であったため、表面から地衣類ごと計測した。この場合、地衣類繁茂に関しては表面の地衣類と下の砂岩との両方を合わせて計測したことになる。なお、エコーチップ硬度試験は、同一箇所を連打すると初めは値が徐々に上昇し、やがて一定値に収束する傾向があることが知られているため、先行研究の方法に則り、同一箇所を20回連打して値の推移を確認した。

3-3. 結果

新鮮砂岩、蘚苔類繁茂、地衣類繁茂、そして蘚苔類上、のそれぞれで、連打法により同一箇所を20回続けて叩いて計測した際の、計測値Lの推移を図4に示す。新鮮砂岩、蘚苔類繁茂、地衣類繁茂については、いずれも回数を重ねるごとに値の上昇が見られたが、新鮮砂岩と蘚苔類繁茂では8回目くらいから、地衣類繁茂では15回目くらいから、それぞれ値の収束傾向が認められた。蘚苔類上では、値の上昇傾向は認められず、3回目くらいから継続して同じような値が得られ続けた。計測した全地点において、得られた最大値三つの平均値であるLmax値を図5に示す。いずれも値には大きなバラツキがあるものの、その範囲には違いが見られ、平均値で見ると、新鮮砂岩で721、蘚苔類繁茂では527、地衣類繁茂では615であり、蘚苔類上では378だった。

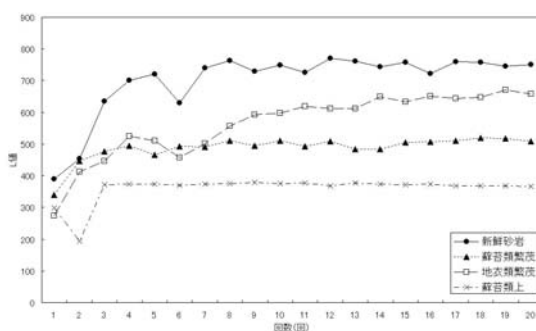


図4 エコーチップ試験器で20回連打した際の計測値Lの推移
新鮮砂岩と蘚苔類繁茂でははじめは値が上昇し、徐々に一定値に収束するが、地衣類繁茂は収束値に到達するのが遅い。

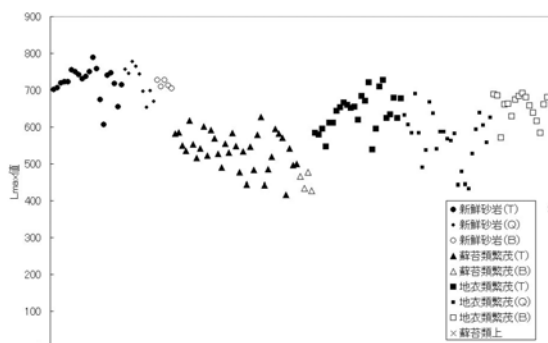


図5 エコーチップ硬度計測結果

蘚苔類繁茂は、新鮮砂岩や地衣類繁茂よりも値が低い傾向にある。
(T)：タ・ネイ遺跡における計測，(Q)：石切場における計測，
(B)：バンテアイ・プレイ遺跡における計測

4. 偏光顕微鏡観察

上記のように蘚苔類繁茂の場合に硬度値が低い傾向が認められたことから、蘚苔類が表面に繁茂した状態の砂岩試料を実験室に持ち込み、偏光顕微鏡によって表面付近の状態を観察した。

4-1. 試料と方法

試料はタ・ネイ遺跡西部の西参道付近に散乱していた径3 cm程度の砂岩断片で、蘚苔類が表面に付着していたものである。これは、長石質アレナイトと見られる砂岩の性質から、もともとタネイ遺跡の何らかの部位に利用されていた石材の破片と推測されるが、既に原位置が不明の状態だったものを、カンボジア政府アンコールシェムリアップ地域保護管理機構の了解の下で日本に持ち帰った試料である。なお、試料採取地点の近傍では、ホウオウゴケ科の*Fissidens hollianus*およびナガハシゴケ科の*Texithelium nepalense*のそれぞれ蘚類の存在が報告されており⁷⁾、当該試料にも両者が存在していたと推測される。得られた試料は、乾燥後に樹脂で硬化した後に、表面の蘚苔類から岩石内部に至る断面が観察できるように薄片を製作し、偏光顕微鏡にて観察した。

4-2. 結果

偏光顕微鏡写真を図6、7に示す。

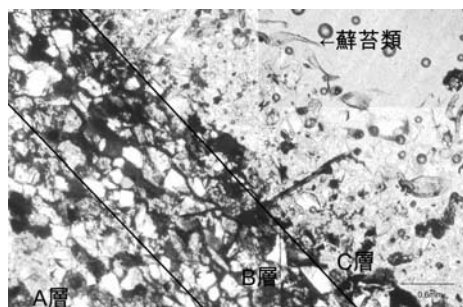


図6 蘚苔類繁茂箇所の断面偏光顕微鏡写真
(オープンニコル)

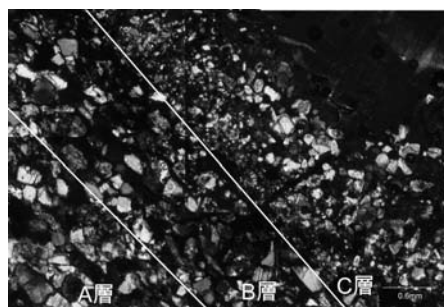


図7 蘚苔類繁茂箇所の断面偏光顕微鏡写真
(直交ニコル)

まず、蘚苔類が存在する周辺には粘土質物質の中に細粒（径 $50\mu\text{m}$ 未満）の石英粒子が存在し、また空隙が多く認められる（仮にC層と名付ける）。C層は厚さ約 1mm で、その内側（岩石内部）の部分とは明瞭な境目を示す。岩石内部は、 $50\sim 100\mu\text{m}$ 程度の石英粒子を主体とし、表面側 1mm 程度には空隙が目立つ（この部分をB層と名付ける）が、それより内部側には空隙はあまり見受けられない（この部分をA層と名付ける）。B層部分には、粒子と粒子との間の隙間を、茶色物質が充填している部分が認められるが、A層にはそのような物質は認められず、粒子と粒子の間は無色透明な細粒物質である。A層とB層との境目は比較的明瞭で、漸移層のようなものは認められない。しかし、A層とB層との違いは充填物質の性質と空隙率だけであり、それ以外の粒子形状、大きさ、存在密度、そして岩石組織などの性質に違いは認められない。

5. 考察

5-1. 硬度値の評価

まず硬度値に関して、蘚苔類繁茂と新鮮砂岩とにおいては、20回の連打による計測値の変化傾向（収束傾向）に違いは認められない（図4）ため、蘚苔類繁茂についても L_{max} 値をもって硬度値と捉え、それを新鮮砂岩のものと比較することが可能と判断する。その測定値の範囲および平均値から、新鮮砂岩に比べて蘚苔類繁茂では27%程度値が低くなっている傾向が認められる（図5）。

次に、地衣類繁茂については値の収束が遅れているが（図4）、これは連打に伴って表面を覆っている地衣類が変形するか、あるいは除去されるかすることで値が上昇し続けたのであろう。それでも15回目以降には値の収束傾向が認められていることから、その収束値が何を意味するかは別としても、 L_{max} 値を他の測定結果と比較することに意義は見出される。その平均値を比べると、地衣類繁茂では、新鮮砂岩に比べて15%程度硬度値が低くなっており、蘚苔類を除去した下の砂岩表面よりは若干高い傾向を見ることができる（図5）。

ただしこの場合、新鮮砂岩に比べて地衣類繁茂の硬度値が低い点に関しては、そもそも表面に地衣類が存在する状態で計測を行っているため、本当にその下の砂岩表面の硬度が低下しているのかどうかについては現段階では判断できない。それでも蘚苔類が繁茂する箇所に関しては、蘚苔類部分は取り除いてから計測を行っているため、その下の砂岩で、地衣類が繁茂する箇所よりもさらに硬度低下が起きているという傾向を指摘することは可能だろう。なお、岩石のエコーチップ硬度は、その含水条件によって値が微妙に変化することが報告されている⁹⁾が、アンコール遺跡群内で使用されている砂岩（長石質アレナイト）の間隙率は、遺跡によらず12~20%程度の範囲におさまることが報告されている¹⁰⁾。すなわち、仮に測定時の含水条件にバラツキがあったとしても、その含水率のバラツキは最大でも0~20%程度の範囲内と考えられ、この範囲における L_{max} 値の違いは、過去の研究⁹⁾に基づけば22%以内と推測される。このことから、蘚苔類繁茂に見られた平均で27%の硬度値低下は、含水状態の違いだけでは説明できず、岩石自身の物性変化に起因すると判断される。

5-2. 硬度値低下の要因と意味

では、蘚苔類が繁茂する箇所で物性変化が認められる原因について検討する。まず、偏光顕微鏡下で認められた特徴のうち、蘚苔類の周辺に存在する細粒の石英粒子を含むC層は、石英粒子の大きさや存在状態が砂岩部分とは全く異なるため、砂岩がその場で風化を受けた部分とは考えにくく、もともとの砂岩表面に、後天的に沈着していった土壌状物質であろう。つまり蘚苔類の存在は、表面における水分保持に貢献し、そのことは土の吸着にも寄与しているの

あろう。しかし、硬度計測時にはC層は除去してから行っているため、この層の存在は直接的には今回計測した蘚苔類繁茂の硬度値には影響を与えていないと考えられる。

次に、砂岩表面のB層部分であるが、粒子の状況からこの部分はもともとの砂岩部分であることは疑いようがなく、にもかかわらず空隙率が異なっているのは、後天的に粒間物質が流出したか、あるいは砂粒子と砂粒子の界面付近で粒子表面が微妙に溶解したかのいずれかまたは両方であろう。そのB層で粒子間を埋める茶色物質の正体は不明だが、A層に見られる無色透明の粒間物質が変質した物質か、もしくはそれが流出した後に新しく浸入した物質であろう。蘚苔類繁茂における硬度計測では、主としてB層の性質が計測されたと考えられるのに対して、新鮮砂岩ではA層に相当する性質が計測されたと考えられ、得られた硬度値の違いは主としてその空隙率と粒間物質の違いに起因していると判断される。これはすなわち両者の風化状況の違いが反映されていると考えられ、今回調査した試料に限って言えば、蘚苔類が繁茂している下の砂岩表面は、新鮮な状態の砂岩に比べて風化が進行していることが硬度低下の原因であろう。

その硬度低下が、地衣類繁茂箇所よりもさらに大きい傾向が認められることから、表面における蘚苔類繁茂と砂岩の風化との関係が想起されることになるが、それには原因と結果の捉え方により、大きく三通りの解釈があり得るだろう。すなわち、風化が進行したことを原因として蘚苔類が表面に付着したと考えるか、表面における蘚苔類の存在を原因として風化が進行したと考えるか、双方が相互に影響しあっていると考えるかである。それ以外に、例えば水のように第三の要因を考慮すれば、さらに複雑に考える必要が生じるが、ここでは水と風化、水と蘚苔類繁茂の相互作用は前提として単純化する。まず前者については、蘚苔類以外の要因による風化で空隙率が上がれば、表面に水分を保持しやすくなるため、蘚苔類の繁茂には有利な状況が与えられると言えるが、それを示す根拠は今のところ指摘できない。中者では、蘚苔類の存在が物理的あるいは化学的に空隙率上昇に寄与する可能性はあり得るものの、その具体的なメカニズムは今のところ明らかにはされていない。両者とも可能性として考えられる以上、相互作用が存在する可能性もあり、結局のところは現段階で因果関係を言及することは困難と言える。また、現時点で蘚苔類の繁茂が確認されても、そもそも歴史的に継続してそれがその場に存在し続けていた保証はなく、例えば藍藻類など、過去における何らかの別の生物繁茂の履歴が今の生態を生んだ可能性も十分に考えられる。従って、現時点でたまたま卓越して存在する生物種と、現時点までに蓄積された風化とを、単純に関連させて議論するのは危険だろう。

しかしながら、たとえ因果関係は判断できなくとも、今回の観察から、蘚苔類が表面に繁茂している砂岩は、新鮮な状態の砂岩に比べて、平均で30%近く表面硬度値が低下しているという傾向は指摘可能である。では、そのレベルの表面硬度の低下は、その石材全体にとってどの程度の影響と捉えるべきなのだろうか。この点については、室内における強制劣化試験の結果が参考となる。例えば砂岩を用いた室内実験によれば、表面硬度値が新鮮な状態の50~60%程度にまで低下すると、岩石試料に重量変化が生じる、すなわち表面崩落が始まると報告されている¹¹⁾。タ・ネイ遺跡の砂岩についてもこの結果が単純に適用できるかどうかはわからず、また現場では表面に生物が存在している状況のため崩落については室内実験の状況とは異なると考えられるが、仮に1 mm程度の厚さのB層が、崩落を起こす硬度低下レベルに近い状態だすれば、すぐに遺跡全体にとっての脅威とまでは言えないものの、レリーフや銘などの保存を考える上では無視できない問題と位置づけられよう。

であるならば、タ・ネイ遺跡におけるさらなる砂岩の風化を防ぐためには、既存の蘚苔類を除去するのが妥当かどうかは未だ判断できないものの、少なくとも蘚苔類が繁茂しやすい状態

に現在ある部分を、繁茂しにくい条件に近づけていくことが一つの対策として指摘可能である。つまり、仮に因果関係が、岩石が風化したから蘚苔類が繁茂しやすいという方向の矢印であり、蘚苔類の存在自体は岩石風化を促進していなかったとしても、その場合には蘚苔類の繁茂はその部分の岩石が風化していることを示す指標となっているのであって、やはり岩石風化を防ぐためにはその部分の状況を改善する必要があることになる。そしてその具体的な方法は、岩石が風化していない箇所、すなわち硬度値の面から言えば蘚苔類が繁茂していない部分の環境に近づけることが一つの選択肢という結論になる。もちろん、そのことによって風化を促進する別の要因を助長することがあってはならないが、アンコール遺跡群内で蘚苔類の繁茂があまり顕著でない他の遺跡のように、樹木伐採などの環境整備により、遺跡の湿度を他の遺跡並みに下げることが対策として考えられる。今後さらに蘚苔類の繁茂しにくい環境条件を厳密に解明することができれば、砂岩の風化を起きにくくする環境条件を与える方法について、より具体的に提言できるようになると期待される。

6. まとめ

カンボジア・アンコール遺跡群のタ・ネイ遺跡において、表面に蘚苔類が繁茂することが、母岩としての砂岩の風化とどのような関係にあるのかを検討した。その結果、蘚苔類に覆われている砂岩の表面で、蘚苔類を除去してから測定された硬度値は、新鮮な砂岩破断面や地衣類に覆われた状態の砂岩表面での測定値よりも有意に低い結果が得られた。岩石風化に対する蘚苔類の直接的関与は未だ明らかにされないものの、少なくとも同遺跡における蘚苔類の繁茂は、その下の砂岩風化の指標となっていると考えられ、現在蘚苔類が繁茂する部分の環境を、樹木伐採などによりそうでない環境に変えていくことが、砂岩のさらなる風化を防ぐ一つの方法として想起される。

謝辞

本研究における現地調査に際しては、カンボジア政府アンコールシムリアップ地域保護管理機構のSay Sophearin氏に立ち会い・ご協力いただき、砂岩試料を持ち帰る許可をいただいた。また、国立科学博物館の柏谷博之氏には地衣類に関して、樋口正信氏には蘚苔類に関して、現地において繁茂箇所をご教示いただくとともに、それぞれの生物種に関して数多くの有益な情報をご提供いただいた。そして筑波大学の松倉公憲氏と大東文化大学の青木久氏からは、岩石の風化とエコーチップ硬度試験に関して、様々な観点からご議論・ご助言をいただいた。さらに、東京文化財研究所の二神葉子氏と宇野朋子氏には、現地調査にご協力いただいた。以上を記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東京文化財研究所：文化遺産の生物劣化と国際協力（2007）
- 2) 東京国立文化財研究所：石造文化財の保存と修復（1985）
- 3) Chen, J., Blume, H.-P. and Beyer, L.: Weathering of rocks induced by lichen colonization - a review. *Catena*, 39, 121-146 (2000)
- 4) Adamo, P. and Violante, P.: Weathering of rocks and neogenesis of minerals associated with lichen activity. *Applied Clay Science*, 16, 229-256 (2000)
- 5) 東京文化財研究所国際文化財保存修復協力センター：文化財の保存修復に関する国際共同研究成果

報告書 (2006)

- 6) 日本国政府アンコール遺跡救済チーム：アンコール遺跡調査報告書1995 (1995)
- 7) 東京文化財研究所：アジア諸国における文化遺産を形作る素材の劣化と保存に関する調査・研究平成18年度成果報告書 (2007)
- 8) 青木久, 松倉公憲：エコーチップ硬さ試験器の紹介とその反発値と一軸圧縮強度との関係に関する一考察, 地形, 25, 267-276 (2004)
- 9) 青木久, 佐々木智也, 松倉公憲：大谷石からなる風化岩盤の表面の強度に関する非破壊測定法：エコーチップ硬さ試験機と赤外線水分計を利用した例, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 6, 33-38 (2005)
- 10) 日本国政府アンコール遺跡救済チーム：アンコール遺跡調査報告書1997 (1997)
- 11) 山本まりえ, 青木久, 松倉公憲：青島砂岩の塩類風化速度に与える間隙率の影響に関する一実験, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 6, 23-31 (2005)

キーワード：生物劣化 (bio-deterioration) ; エコーチップ硬度 (Equotip-hardness) ; 偏光顕微鏡 (polarizing microscope) ; アンコール遺跡 (Angkor complex) ; 地衣類 (lichen)

Luxuriant Growth of Mosses and Weathering of Sandstone at Ta Nei Site in the Angkor Complex, Cambodia

Nobuaki KUCHITSU

The surface hardness of sandstone covered with mosses was compared with that of fresh sandstone at Ta Nei Site in the Angkor Complex, Cambodia. As a result, it was found that the hardness of sandstone after the removal of surface mosses is about 30 % less than that of fresh sandstone and even less than the hardness of sandstone covered with lichens. Polarizing-microscopic observation was conducted on a sandstone covered with moss. It was revealed that the surface of that sandstone to a thickness of 1 mm is more porous than the rest, indicating that the surface is weathered. From these observations, it can be concluded that the existence of surface mosses indicates the surface weathering of the host rock, though it cannot be ascertained which is the cause and which is the result. Therefore, the surrounding environment which allows luxuriant growth of mosses is regarded to be undesirable for the conservation of sandstone in this Site, even if the mosses do not actually accelerate weathering. Improvement of the surrounding environment of this Site, e.g. felling of trees for the reduction of relative humidity within the Site, would be an effective countermeasure.